

論文 合成構造用充填コンクリートの配合と初期性状について

藤原 敏弘^{※1}・北澤 真^{※2}・村上 敏幸^{※3}・濱田 秀則^{※4}

要旨：本研究では、補助的な振動を加えることによって高い充填性と間隙通過性が得られるコンクリート（以下、充填コンクリートと称す）の振動をともなう充填性能について検討し、海砂と砕砂とを併用した充填コンクリートの標準的な配合を抽出した。さらに、充填コンクリートのブリーディング特性と沈下量の関係について検討した結果、充填コンクリートの材齢 24 時間までの沈下は水和収縮が主因であると推測された。

キーワード：充填コンクリート、充填性能、沈下量、ブリーディング

1. はじめに

高流動コンクリートは、鋼コンクリートサンドイッチ構造をはじめとする合成構造の充填に適しており、各地で施工実績が蓄えられている。その一方で、高流動コンクリートの使用にともなうコストおよび品質管理手間の増加が指摘されているのも事実である。コスト増加の一因としては生コン工場の占有費が挙げられる。また、施工性と充填性がフレッシュコンクリートの品質に大きく依存するため、確実な品質管理を実施しなければならない。

さらに、鋼殻により密閉された空間内にコンクリートを充填する合成構造では、シアコネクタやジベル等で鋼殻とコンクリートとの一体性を確保する場合が多い。その際、上部鋼板とコンクリートとの空隙の有無や程度が部材の力学特性に与える影響を考慮する必要がある。

このような現状を踏まえ、筆者らは、コスト低減を目的として充填コンクリートの開発を進めている¹⁾。充填コンクリートとは、生コン工場で常用の材料を使用し、スランプフローが 350~500 mm 程度で、補助的な振動を加えることによって高い充填性が得られ、所要品質および耐久性を有し、施工性、経済性に優れたコン

クリートと定義する。本稿では、室内および実機実験の結果をもとに振動をともなう充填性能の評価方法を提案し、海砂と砕砂とを併用した充填コンクリートの標準的な配合を抽出する。

さらに、充填コンクリートのブリーディングが、材齢 24 時間までに生じる沈下（以後、初期沈下と称す）に与える影響について検討し、充填コンクリートの初期沈下の発生原因について考察した。

2. 試験項目と方法

試験項目と方法の一覧を表-1に示す。本研究では、充填コンクリートの振動をともなう充填性能と間隙通過性能とを評価するため、土木学会が高流動コンクリートを対象に規準化しているU形容器を用いた試験方法を参考として、図-1に示す試験方法を提案する。

また、試料高さが初期沈下およびブリーディングに与える影響を確認するため、図-2に示す、高さが 500 mm と 1000 mm の容器を用いて初期沈下量を測定した。なお、初期沈下量とブリーディングとは別容器で測定を行い、ブリーディングは JIS A 1123（試料高さ 285 mm）に準拠した場合も試験を実施した。

※1 五洋建設（株）技術研究所総合技術グループ 工修（正会員）

※2 東亜建設工業（株）技術研究所材料・構造研究室（正会員）

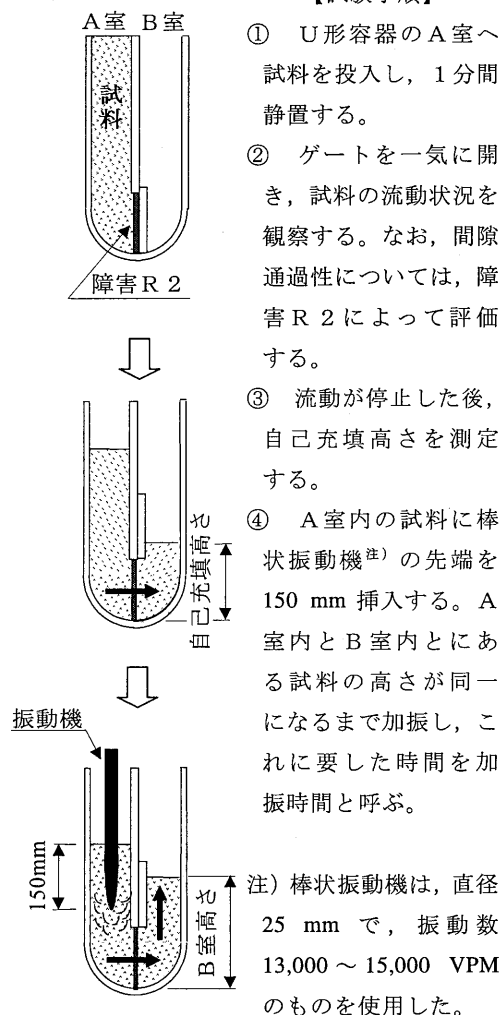
※3 佐伯建設工業（株）施工本部技術部技術第一グループ係長

※4 独立行政法人港湾空港技術研究所材料研究室室長 博士（工学）（正会員）

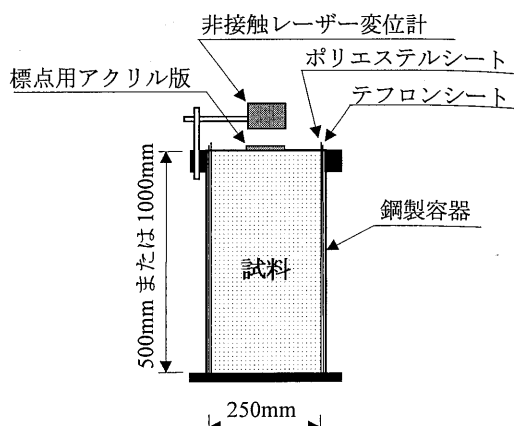
表－１ 試験項目と方法

試験項目	試験方法
スランプフロー	JSCE-F503 に準拠
U 形容器を用いた 充填試験	図－１を参照
空気量	JIS A 1128 に準拠
初期沈下量	図－２を参照
ブリーディング	JIS A 1123 に準拠した場合と図－２の鋼製容器を使用した場合について実施

【試験手順】



図－１ U 形容器を用いた充填試験方法



図－２ 初期沈下量の測定方法

3. 振動をともなう充填性能の評価方法

3.1 実験概要

産地の異なる複数の骨材を用い、スランプフローが 250～550 mm 程度のコンクリートについて、実機または室内実験を行った。これらのコンクリートの概要を表－２に示す。なお、細骨材は、表乾比重 2.56～2.64 g/cm³、吸水率 0.94～2.14 %、粗粒率 2.46～2.94 であり、粗骨材は、表乾比重 2.66～2.73 g/cm³、吸水率 0.47～1.37 %、粗粒率 6.55～6.84 である。

全てのシリーズで高炉セメント B 種とポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤とを使用した。メーカーと銘柄とは共通ではない。さらに、シリーズ A、B は生コン工場で実施した実機実験、その他のシリーズは室内実験の結果である。

表－２ コンクリートの概要

シリーズ名	水セメント比の範囲	細骨材の種類	粗骨材の種類
A	34.6～50.0(%)	陸砂＋砕砂	碎石
B	40.0(%)	陸砂	碎石
C	40.0(%)	陸砂	碎石
D	38.8(%)	陸砂＋砕砂	碎石
E	45.8～46.9(%)	海砂＋砕砂	碎石
F	36.5～38.8(%)	海砂＋砕砂	碎石

3.2 充填性能の評価方法の提案

表-2に示したコンクリートについてスランブフロー試験とU形容器を用いた充填試験を実施した。図-3に、スランブフローと加振時間の関係を示す。骨材の種類や実機実験と室内実験との違いにかかわらず、スランブフローの増加にともなって加振時間は減少する傾向を示すが、その程度はスランブフロー350 mmの前後で大きく異なる。スランブフローが350 mm以下の場合、加振時間が20秒を大きく上まわり、障害R2に粗骨材が閉塞することが懸念される。一方、スランブフローが350 mm以上の場合は加振時間が15秒以下となり、スランブフローの増加にともない加振時間が減少する傾向を示す。

自己充填高さと加振時間の関係を図-4に示す。図-4では、自己充填高さの増加にともない加振時間が減少する傾向を示す。このとき、骨材の種類や実機実験と室内実験の違いにかか

【凡例】図-3, 4で共通

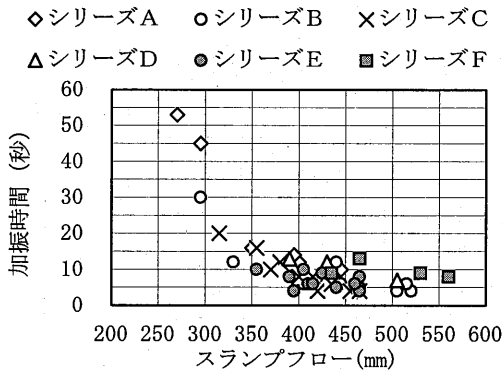


図-3 スランブフローと加振時間の関係

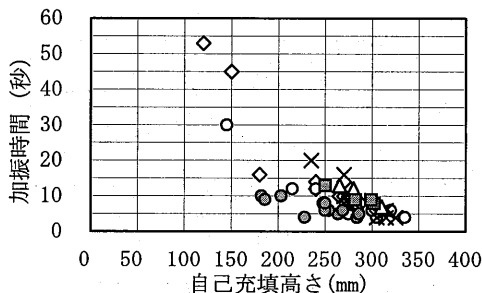


図-4 自己充填高さと加振時間の関係

わらず、自己充填高さが200 mm以上であれば加振時間はおおむね15秒以下となる。

今回の実験では、スランブフロー350 mm以上、または、自己充填高さ200 mm以上であれば、振動を加えることにより高い充填性と間隙通過性が得られた。このことから、充填コンクリートでは、スランブフローの下限値を350 mm以上にすると考えられる。

4. 海砂と砕砂を併用した充填コンクリートの配合

4.1 使用材料

使用材料を表-3に示す。なお、海砂は表乾密度2.56 g/cm³、吸水率1.21%、粗粒率2.68%であり、砕砂は表乾密度2.64 g/cm³、吸水率0.94%、粗粒率2.80%である。さらに、粗骨材は表乾密度2.73 g/cm³、吸水率1.37%、粗粒率6.84、実積率56.7%である。

表-3 使用材料

材料名		概要
セメント (C)		高炉セメントB種
細骨材 (S)	海砂	山口県藍井島産
	砕砂	福岡県田川市産
粗骨材 (G)	2005 砕石	福岡県北九州市産
高性能 AE 減水剤 (SP)		ポリカルボン酸系
AE 助剤 (Ag)		樹脂酸塩系陰イオン界面活性剤

4.2 実験結果

コンクリートの振動をともなう充填性能に、単位水量、および、単位粗骨材絶対容積の変化が与える影響を評価する目的で室内実験を実施した。検討配合を表-4に示す。ここで、練り上がりから5分経過後のスランブフローは425~490 mm、同じく空気量は4.6~5.3%となった。

単位粗骨材絶対容積と自己充填高さの関係を図-5に示す。単位粗骨材絶対容積の減少にともない自己充填高さは増加し、単位粗骨材絶対容積が0.330 m³/m³を上まわると単位水量の違いにかかわらず自己充填高さが200 mmを下まわる。

図-6に、単位粗骨材絶対容積と加振時間の関係を示す。単位水量の低下にともない加振時間は増加する傾向を示し、単位水量が 155kg/m^3 の場合は単位粗骨材絶対容積にかかわらず加振時間が 20 秒を上まわった。これは、水セメント比の低下によってコンクリートの塑性粘度が増加し、振動に対する反応が鈍化したのが原因と考えられる。一方、単位水量が 160、および、 165kg/m^3 の配合でも、単位粗骨材絶対容積が $0.345\text{ m}^3/\text{m}^3$ の場合には加振時間が 40 秒程度となった。これは、単位粗骨材絶対容積が増加して間隙通過性が低下し、障害 R 2 を通過するのが困難になるためと考えられる。

単位粗骨材絶対容積と JIS A 1123 に準拠して測定したブリーディング率の関係を図-7に示す。単位水量の増加にともなってブリーディング率は増加した。単位水量が 165 kg/m^3 の配合では、単位水量が 160 kg/m^3 の配合よりブリーディング率が 13~76 %程度増加した。

4.3 標準的な配合例の抽出

上記の実験結果から、単位粗骨材絶対容積が増加すると自己充填性および間隙通過性が低下し、単位水量が低下すると加振に対する反応が鈍化する傾向が得られた。さらに、単位水量が増加するとブリーディング率も増加することが明らかとなった。

今回の実験では、単位水量 160 kg/m^3 程度、単位粗骨材絶対容積 $0.330\text{ m}^3/\text{m}^3$ 以下の配合が海砂と砕砂とを併用した充填コンクリートの標準的な配合と考えられる。なお、フレッシュ性状の経時保持性は、使用する混和剤の影響が大きいので、配合ごとに確認する必要がある。

5. 初期沈下とブリーディングに関する検討

5.1 実験概要

4 章における検討結果を踏まえ、流動性、自己充填性、および、振動をともなう充填性が最

表-4 検討配合

W/C (%)	単位粗骨材絶対容積 (m^3/m^3)	単位量 (kg/m^3)					
		W	C	S	G	SP	Ag
36.5	0.315	155	425	891	860	3.188	0.028
	0.330			852	901	3.188	0.032
	0.345			813	942	2.975	0.032
37.6	0.315	160	425	878	860	2.975	0.026
	0.330			839	901	2.763	0.028
	0.345			801	942	2.763	0.028
38.8	0.315	165	425	865	860	2.763	0.019
	0.330			826	901	2.550	0.021
	0.345			788	942	2.550	0.021

注) 海砂と砕砂は、容積比で 7 : 3 に混合して使用した。

【凡例】 図-5~7で共通

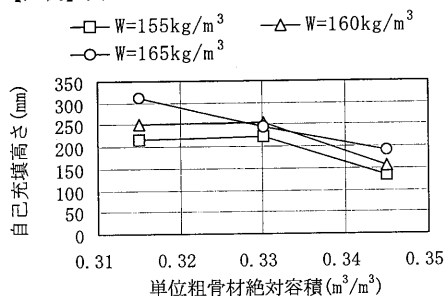


図-5 単位粗骨材絶対容積と

自己充填高さの関係

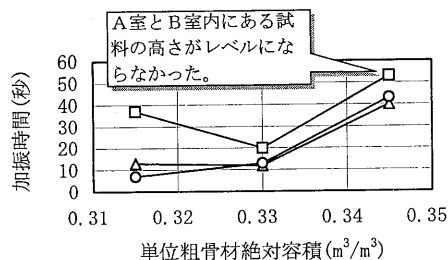


図-6 単位粗骨材絶対容積と加振時間の関係

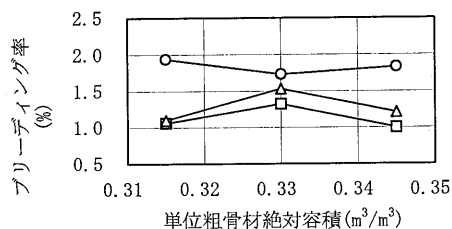


図-7 単位粗骨材絶対容積と

ブリーディング率の関係

も優れ、かつ、ブリーディング率が最も小さい、単位水量が 160 kg/m^3 で単位粗骨材絶対容積 $0.315 \text{ m}^3/\text{m}^3$ の配合を基本配合とする。ここでは、表-5に示す条件の配合について、試料高さが 500 mm 、 1000 mm の場合の初期沈下量と、試料高さが 285 mm 、 500 mm 、 1000 mm の場合のブリーディングを測定した。

表-5 検討配合

配合番号	配合条件
①	基本配合 (表-4 参照: $W=160 \text{ kg/m}^3$, 単位粗骨材絶対容積 $0.315 \text{ m}^3/\text{m}^3$)
②	細骨材表面水率設定誤差-0.5 %
③	細骨材表面水率設定誤差-1.0 %
④	細骨材表面水率設定誤差+1.0 %
⑤	海砂: 砕砂=100:0
⑥	海砂: 砕砂=85:15
⑦	海砂: 砕砂=55:45
⑧	S P 添加量+0.213 kg/m^3
⑨	S P 添加量+0.425 kg/m^3
⑩	S P 添加量-0.425 kg/m^3

5.2 実験結果

試料高さと初期沈下量の関係を図-8に示す。配合条件が異なるにもかかわらず、試料高さの増加にともない初期沈下量は増加する傾向を示し、試料高さが2.0倍になると、初期沈下量は1.8倍程度になった。

図-9に試料高さとブリーディング率の関係を、図-10に試料高さとブリーディング量の関係を示す。試料高さの増加にともないブリーディング率は直線的に減少する傾向を示し、試料高さが 1000 mm の時のブリーディング率は試料高さが 285 mm の時の15~35%程度となった。一方、試料高さの変化にともなうブリーディング量の変動については明確な傾向が認められず、試料高さが 1000 mm の時のブリーディング量は試料高さが 285 mm の時の65~135%程度となった。以上の実験結果は、ブリーディングにより析出する水量は表面からある深さのコンクリート中の水のみが寄与することを示唆し

【凡例】 図-8~10で共通

① ② ③ ④ ⑤
⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩

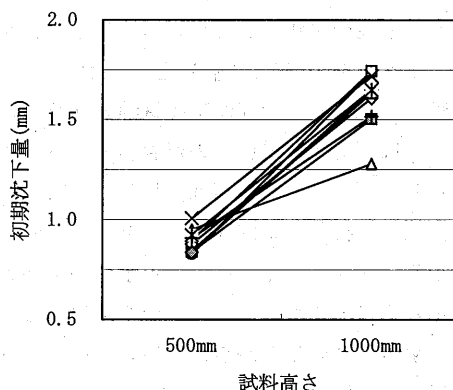


図-8 試料高さと初期沈下量の関係

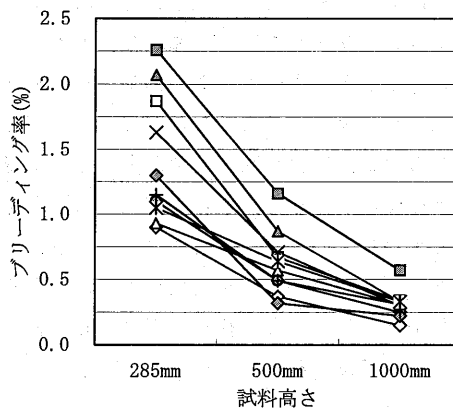


図-9 試料高さとブリーディング率の関係

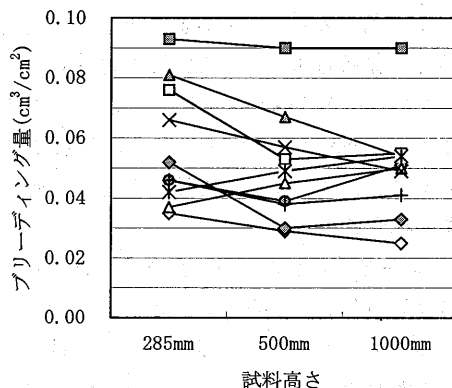


図-10 試料高さとブリーディング量の関係

ていると考えられる²⁾。

基本配合である配合①について、試料高さが1000 mmの場合の沈下量とBL沈下量の経時変化を図-11に示す。ここで、BL沈下量とはブリーディングにより析出する水の量だけコンクリート表面が沈下した場合の沈下量（ブリーディング量を10倍した値）と定義する。

図-11より、初期沈下は材齢3.0時間程度までにほぼ終了しているのが確認できる。これに対し、ブリーディングは、材齢1.5時間程度に発生し、材齢6.0時間程度で終了している。つまり、ブリーディングによる水分の析出が本格化する以前にコンクリートの初期沈下はほぼ終了する。このことから、充填コンクリートの初期沈下の原因は、ブリーディングによる水の析出の他に存在すると考えられる。

硬化体の骨格がまだ形成されていないフレッシュコンクリートでは、水和収縮にともないセメント粒子が重力により再配列し、鉛直方向に巨視的な収縮が生じる。したがって、沈下は、水との比重差により固体粒子が分離して沈降するためばかりでなく、水和収縮によっても生じると言われている³⁾。充填コンクリートにおいても、ブリーディングが初期沈下量に与える影響が小さいことから、初期沈下は水和収縮が主因となって生じると考えられる。

6. 結論

本研究から得られた知見を以下に示す。

- ① U形容器を利用した振動をともなう充填性能と間隙通過性能の評価方法を提案し、スランプフローが350 mm以上、かつ、自己充填高さが200 mm以上のコンクリートは、振動を加えることによって高い充填性と間隙通過性とを発揮する。
- ② 海砂と砕砂とを併用した充填コンクリートの標準的な配合を抽出できた。
- ③ 試料高さの違いがブリーディング量に与える影響が小さいことから、ブリーディングにより析出する水量は表面からある深さのコン

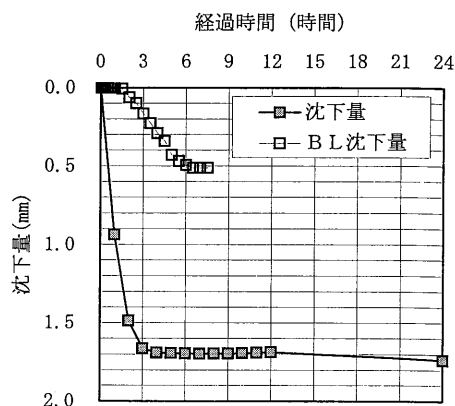


図-11 沈下量の経時変化
(配合①：試料高さ 1000 mm)

クリート中の水のみが寄与すると考えられる。

- ④ 充填コンクリートのブリーディングが初期沈下に与える影響は小さく、充填コンクリートの初期沈下は水和収縮に起因すると考えられる。

本研究は、独立行政法人港湾空港技術研究所、(財) 沿岸開発技術研究センター、早稲田大学理工学部清宮研究室、五洋建設(株)、佐伯建設工業(株)、東亜建設工業(株)、東洋建設(株)、若築建設(株)で進める「合成構造用充填コンクリートの開発に関する共同研究」の一環として実施したものである。研究にご協力していただいた関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 佐野清史ほか：合成構造用充填コンクリートの適用性に関するモデル実験，土木学会第55回年次学術講演会講演概要集，V-234，2000.9
- 2) 末岡英二ほか：充填コンクリートのブリーディングと沈下に関する一考察，土木学会第55回年次学術講演会講演概要集，V-235，2000.9
- 3) (社) 日本コンクリート工学協会：自己収縮研究委員会報告書，pp.1-5，1996.11